

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

**Webová aplikace pro výpočet
parametrů kvality rádiového kanálu v
mobilní síti druhé až čtvrté generace**

**Web Application for Parameters
Calculation Related to Quality of Radio
Channel in Mobile Network of Second
to Fourth Generation**

Zadání bakalářské práce

Student:

Adam Sladký

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Webová aplikace pro výpočet parametrů kvality rádiového kanálu v
mobilní síti druhé až čtvrté generace
Web Application for Parameters Calculation Related to Quality of Radio
Channel in Mobile Network of Second to Fourth Generation

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh webové aplikace pro výpočet parametrů kvality rádiového kanálu v mobilní síti druhé až čtvrté generace. Součástí vypracování bude rešerše v oblasti kvality rádiového kanálu pro mobilní systémy.

1. Popište všechny parametry, které souvisí s kvalitou rádiového kanálu v mobilních sítích (zejména RxLev, RxQual, Ec/No, CQI, RSRP)
2. Navrhněte a naprogramujte webovou aplikaci, která dokáže dle stanovených vstupních parametrů vypočítat parametry dle bodu 1.
3. Aplikaci otestujte a výsledky okomentujte.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] EBERSPACHER, J, Hans-Jorg VOGEL a Christian BETTSTETTER. *GSM: switching, services, and protocols*. 2nd ed. New York: Wiley, c2001, xiv, 332 p. ISBN 04-714-9903-X.
- [2] HOLMA, Antti Toskala and Harri. *WCDMA for UMTS, HSPA evolution and LTE*. 5th ed. Hoboken, N.J: Wiley, 2013. ISBN 978-111-9991-908.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

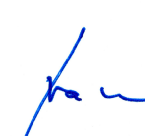
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Michalek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2019


prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty


Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 29. dubna 2019

.....

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 29. dubna 2019

.....

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Liboru Michálkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a konzultace, které mi pomohly bakalářskou práci vytvořit.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a vytvoření webové aplikace, která pracuje s kvalitativními parametry rádiového kanálu v mobilní síti druhé až čtvrté generace. Dále je součástí vypracování rešerše vztahující se na toto téma.

Většina popisovaných parametrů je součástí specifikací 3GPP. Parametry jsou tedy standardizovány a pro výrobce zařízení je nutné se specifikacemi řídit. Dále práce obsahuje další parametry, které nejsou přímo součástí specifikací, ale jsou také důležité pro určení kvality kanálu. Jelikož se jedná o webovou aplikaci, tak lze k výpočtům využít JavaScript a pro uživatelské rozhraní HTML5. Aplikaci tak bude možné napsat na http server, uživateli bude stačit webový prohlížeč.

Výsledky práce by měly umožnit uživateli snáze provádět výpočty v oblasti kvalitativních parametrů a také poskytovat související základní popis pro tyto parametry.

Klíčová slova: RxLev; BER; RxQual; CQI; BLER; RSCP; RSSI; E_c/N_0 ; RSRP; RSRQ; GSM; UMTS; LTE; 5G NR; Přijímaná úroveň signálu; Přijímaná kvalita signálu

Abstract

This bachelor thesis deals with designing and creating a web application, which works with qualitative parameters of radio channel in mobile network of second to fourth generation. Next part of this thesis is research on this subject.

Most of these parameters are part of 3GPP specifications. Parameters are standardized and devices manufacturers must follow these specifications. This work also contains parameters, which are not included in specifications, but they are also important for quality channel determination. Because it is a web application, we can use Javascript for certain calculations and HTML5 for making an user interface. It will be possible to deploy this application on http server, so the user can use a simple web browser to access it.

Results of this thesis should allow the user to easily perform calculations of qualitative parameters and also provide a related basic description for these parameters.

Key Words: RxLev; BER; RxQual; CQI; BLER; RSCP; RSSI; E_c/N_0 ; RSRP; RSRQ; GSM; UMTS; LTE; 5G NR; Received power level; Received quality of signal

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
1 Úvod	13
2 2. generace	14
2.1 RxLev	14
2.2 BER	15
2.3 RxQual	16
2.4 FER	16
2.5 BEP	17
3 3. generace UMTS/CDMA2000	19
3.1 CQI	19
3.2 BLER	20
3.3 RSCP	21
3.4 RSSI	21
3.5 E_c/N_o	22
3.6 SIR	23
3.7 CDMA2000	24
4 4. generace LTE	25
4.1 RSRP	25
4.2 RSRQ	26
4.3 SINR	26
4.4 CQI v LTE	27
5 Webová aplikace	29
5.1 Použité prostředky pro vývoj aplikace	29
5.2 Popis aplikace	30
5.3 Výpočet RSRP	35
5.4 Výpočet SINR v UMTS	36
5.5 Výpočet E_c/N_o	38
5.6 Počet zdrojových bloků v LTE a 5G NR	38
5.7 5G NR	39

6 Závěr	40
Literatura	41
Přílohy	44
A Adresářová struktura přiloženého CD/DVD	45

Seznam použitých zkratk a symbolů

3GPP	– 3rd Generation Partnership Project
AJAX	– Asynchronous JavaScript and XML
BCCH	– Broadcast Control Channel
BEP	– Bit Error Probability
BER	– Bit Error Rate
BLER	– Block Error Rate
BSC	– Base Station Controller
BSIC	– Base station identity code
BTS	– Base Transceiver Station
C/I	– Carrier to Interference (Ratio)
CDMA	– Code division multiple access
CPICH	– Common Pilot Channel
CQI	– Channel Quality Indicator
CRC	– Cyclic Redundancy Check
CSS	– Cascading Style Sheets
DCCH	– Dedicated Control Channels
DOM	– Document Object Model
DTX	– Discontinuous Transmission
EDGE	– Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EGPRS	– Enhanced General Packet Radio Service
FDD	– Frequency division duplex
FER	– Frame Erasure Rate
GMSK	– Gaussian minimum-shift keying
GPRS	– General Packet Radio Service
HSDPA	– High Speed Downlink Packet Access
HS-DPCCH	– High-Speed Dedicated Physical Control Channel
HS-DSCH	– High-Speed Downlink Shared Channel
HTML	– Hypertext Markup Language
HTTP	– Hypertext Transfer Protocol
LTE	– Long Term Evolution
MOS	– Mean opinion score
MS	– Mobile Station
NR	– New Radio
OFDM	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P-CCPCH	– Primary-Common control physical channel
PSK	– Phase Shift Keying

QAM	– Quadrature amplitude modulation
QPSK	– Quadrature phase-shift keying
RNC	– Radio Network Controller
RRC	– Radio Resource Control
RSCP	– Received signal code power
RSRP	– Reference Signal Received Power
RSRQ	– Reference Signal Received Quality
RSSI	– Received Signal Strength Indicator
RxLev	– Received Signal Level
RxQual	– Received Signal Quality
SACCH	– Slow Associated Control Channel
SDCCH	– Stand-alone Dedicated channel
SIM	– Subscriber Identity Module
SINR	– Signal-to-interference-plus-noise ratio
SIR	– Signal-to-interference ratio
SVG	– Scalable Vector Graphics
TDD	– Time division duplex
TCH	– Traffic Channel
UE	– User equipment
UMTS	– Universal Mobile Telecommunication System
WCDMA	– Wideband Code Division Multiple Access

Seznam obrázků

1	Proces přiřazení MCS na základě CQI [36]	28
2	Ukázka výstupu aplikace (výpočet RSRP)	33
3	Grafické znázornění výpočtu RSRP	36
4	Znázornění rozdělení výkonu pro jednotlivé kanály a HSDPA [32]	37
5	Grafické znázornění E_c/N_o [37]	38

Seznam tabulek

1	Mapování hodnot RxLev	15
2	Mapování hodnot RxQual	16
3	Mapování hodnot MEAN BEP	17
4	Mapování hodnot CV BEP	18
5	Mapování hodnot BLER	20
6	Mapování hodnot RSCP	21
7	Mapování hodnot RSSI	22
8	Mapování hodnot E_c/N_o	23
9	Mapování hodnot SIR	24
10	Požadavky na přesnost měření RSRP a RSRQ [25]	26
11	Mapování hodnot RSRP	26
12	Mapování hodnot RSRQ	27
13	Mapování hodnot CQI [35]	28
14	Hodnocení kvality rádiového kanálu [32]	32
15	Hodnocení kvality rádiového kanálu RxLev a RSCP [44]	32
16	Výkonová úroveň eNodeB vzhledem k šířce pásma	36
17	Počet PRB v LTE v závislosti na šířce pásma	39
18	Počet PRB v 5G závislosti na šířce pásma[38]	39

1 Úvod

Pro mobilní síť je důležité zajistit dostatečnou kvalitu přenášeného signálu. Výsledné úrovně přijímaných signálů je potřeba měřit, a to jak ze strany mobilní stanice, tak ze strany vysílače. Pro popsání kvality rádiového kanálu slouží právě kvalitativní parametry, které nám popisují úrovně užitečného a neužitečného přijímaného signálu. Některé tyto parametry přímo udávají přijímanou úroveň signálu a mohou být tak využity pro výpočty parametrů, které ukazují poměry mezi užitečným a neužitečným signálem. Další parametry nám popisují kvalitu přijímaného signálu, což je např. bitová chybovost, která může být i při dostatečné úrovni signálu vysoká. Některé z těchto parametrů jsou využívány napříč jednotlivými generacemi. V tom případě jsou tyto parametry v práci uvedeny u generací, kde mají větší význam. Na základě těchto parametrů je poté možné např. vybrat pro přenos nejvhodnější vysílač, zajistit handover, upravit vysílací výkon a mohou také ovlivnit výslednou přenosovou rychlost.

V první části této bakalářské práce jsou tyto kvalitativní parametry teoreticky popsány. Je zde popsáno, čeho se měření týká a popř. jaké konkrétní kanály jsou pro měření využity. Je zde také vysvětlen jejich význam. Dále jsou zde u parametrů uvedeny vzorce, které slouží k jejich výpočtům. U parametrů, které jsou součástí 3GPP specifikací jsou uvedeny převodní tabulky na kódy.

V další části je popsána webová aplikace, která slouží pro výpočty těchto parametrů a opírá se o informace, které jsou uvedeny v teoretické části. Je zde popis technického řešení aplikace, využití prostředky pro vývoj a dále také popis kódu. Součástí je také popis některých výpočtů a způsobu jejich řešení.

2 2. generace

2. generace GSM (Global Systém for Mobile Communications) je v současnosti celosvětově nejrozšířenější standard. První specifikace pochází z roku 1990. Dnes se využívá hlavně pro hlasové služby/SMS. Datové služby GPRS a EDGE již neposkytují dostatečné rychlosti a jejich využití se tak omezuje spíše na oblasti s nedostatečným pokrytím UMTS nebo LTE. [1]

Jako ukazatele kvality se využívají především 2 základní parametry RxLev a RxQual. S těmito parametry pracuje vrstva Radio Subsystem Link Control. Jedním z úkolů této vrstvy je identifikace dosažitelných BTS a také měření přijímané úrovně signálu a kvality. Na základě těchto dat je MS schopna vybírat vhodné BTS tak, aby se zajistilo co nejkvalitnější spojení a minimalizovalo se riziko možných ztrát v přenosu. Díky tomu je možné snížit interference mezi jednotlivými uživateli nebo zajistit řízení vysílacího výkonu a s tím spojenou spotřebu energie. V případě nedostatečně silného signálu je vysílací výkon u MS potřeba zvýšit a naopak při dostatečné úrovni snížit a ušetřit tak energii. Tyto údaje jsou rovněž nutné pro handover.[2][3]

2.1 RxLev

Pro popsání parametru RxLev je vhodné nejdříve vysvětlit pojmy SACCH a BCCH z hlediska jejich využití v RxLev.

BCCH (Broadcast Control Channel) je jeden z nejdůležitějších logických signalizačních kanálů, který je vysílán každou BTS na nejnižší přidělené frekvenci a označuje se jako TRX 0 [4]. Přes tento kanál se šíří důležité systémové informace (SI messages), které umožňují připojení MS do sítě. Je nutné, aby byla nosná frekvence BCCH nepřetržitě vysílána vždy konstantním výkonem, díky tomu je MS schopna porovnávat rozdíly ve výkonech jednotlivých vysílačů. Pro identifikaci konkrétní BTS se využívá 6-bit kód BSIC (base station identity code), který využívá k přenosu BCCH. V paměti SIM může být uloženo až 36 nosných frekvencí BCCH a jejich příslušné BSIC kódy. Pokud MS nemá tento seznam k dispozici, tak dojde k prohledání všech frekvencí v rozsahu GSM, změření jejich přijímané úrovně a vypočtení RXLEV hodnot. Frekvence, na nichž je naměřena nejvyšší hodnota RXLEV budou s největší pravděpodobností kanály BCCH. MS prioritně prohledává frekvence uložené v paměti, teprve při neúspěchu dochází ke kompletnímu prohledání. BTS, na kterou je MS připojena, zasílá seznam sousedních stanic a jejich frekvencí (Allocation list) pro využití při handoveru.[2][3]

SACCH (Slow Associated Control Channel) je obousměrný logický kanál řadící se do skupiny řídicích kanálů DCCH, který se mapuje do kanálu SDCCH nebo provozního kanálu TCH [4]. Směr uplink využívá MS k hlášení výsledků měření kvality signálu. Ve směru downlink BTS zasílá příkazy pro řízení výkonu [1]. SACCH rámec je obsažen v každém 26 rámcovém multirámci (120ms). Pro zaslání kompletní SACCH informace je potřeba 4 burstů, tudíž bude přenos trvat 480ms.[5]

RxLev (Received Signal Level) vyjadřuje úroveň přijímaného signálu měřenou v jednotkách dBm. Měření se provádí v pravidelných intervalech jednoho SACCH multirámce (480 ms), kdy se

Tabulka 1: Mapování hodnot RxLev

RxLev kód	Přijímaná úroveň signálu (RxLev) [dBm]
0	< -110
1	od -110 do -109
2	od -109 do -108
⋮	⋮
61	od -50 do -49
62	od -49 do -48
63	> -48

měří přijímaná úroveň nosné frekvence BCCH. Měření se netýká pouze aktivní buňky, do které je MS připojena (Active cell), ale také sousedních buněk (Adjacent cells). MS provádí měření v dedikovaném režimu, kdy MS komunikuje skrz dedikovaný kanál (při hovoru) a také v režimu idle, kdy MS dedikovaný kanál nevyužívá. RXLEV se však hlásí na BTS pouze v dedikovaném režimu [6]. Výsledná hodnota vzniká zprůměrováním nejméně 32 SACCH rámců, což odpovídá přibližně 15 s měření [3]. Rozsah naměřených hodnot je od -110 dBm do -48 dBm namapován na kódy 0-63. Čím větší je měřená úroveň, tím vyšší je číslo kódu. Hodnoty menší než -110 dBm odpovídají kódu 0 a naopak hodnoty větší než -48 dBm odpovídají kódu 63. Přiřazení kódů ukazuje tabulka 1. Výsledky jsou zasílány na BTS ve tvaru kódu 0-63 skrze uplink SACCH, přičemž je zasíláno až 6 nejsilnějších měření ze sousedních buněk (pokud jsou k dispozici). Výsledky s nižšími hodnotami již zasílané nejsou. BTS tyto údaje zpracovává a zároveň provádí vlastní měření úrovně signálu vysílaného MS. Tyto údaje jsou následně zasílány na BSC [2]. Minimální hodnota RxLev pro připojení MS do konkrétní buňky je dána parametrem RxLev Access Min. Při nižší hodnotě není MS umožněno se k této buňce připojit. RxLev se dělí na RxLev Full a RxLev Sub. Parametr Full se využívá při neaktivním DTX DL (umožňuje omezit přenos na základě hlasu a ušetřit přenosovou kapacitu), jelikož jsou přenášeny všechny rámce v multirámcí SACCH. Z toho vyplývá, že pokud by se parametr Full využíval společně s DTX, docházelo by k měření i za situace, kdy nejsou rámce zasílány, což by vedlo ke špatným výsledkům. Při využití DTX DL se pracuje s parametrem Sub, kdy se měření provádí pouze u povinně zasílaných SACCH rámců.[8]

2.2 BER

BER (Bit Error Rate) je poměr počtu chybně přijatých bitů k sumě všech přijatých bitů za určitou dobu měření (vzorec 1). Tato veličina je bezrozměrná a často uváděna v procentech. Jedná se o jeden z klíčových parametrů u systémů, která přenášejí digitální data z jednoho místa do druhého skrze komunikační kanál, který je ovlivňován negativními jevy, mezi něž se řadí především šum, interference, zkreslení signálu a problémy s bitovou synchronizací. Tyto jevy způsobují chyby, které vedou k nesprávnému přenosu jednotlivých bitů (např. bit s původní hodnotou 1

Tabulka 2: Mapování hodnot RxQual

RxQual kód	Bit Error Rate
0	$BER < 0.2\%$
1	$0.2 < BER < 0.4\%$
2	$0.4 < BER < 0.8\%$
3	$0.8 < BER < 1.6\%$
4	$1.6 < BER < 3.2\%$
5	$3.2 < BER < 6.4\%$
6	$6.4 < BER < 12.8\%$
7	$12.8 < BER$

je přijat jako 0) [9]. BER se vypočítá z jednoho SACCH multirámce. Poté, co kanálový dekodér dekóduje 456 bitový blok, je tento blok znovu zakódován konvolučním kódem a porovnán s původním dekódovaným blokem. Na základě rozdílů v jednotlivých bitech se vypočítá hodnota BER. Je dobré zmínit, že pokud dojde k chybě na základě špatného kontrolního součtu CRC, tak se tyto chyby neřadí do parametru BER, ale FER.[8]

$$BER = \frac{\text{Počet chybně přijatých bitů}}{\text{Počet celkově přijatých bitů}} \quad (1)$$

2.3 RxQual

RxQual (Received Signal Quality) vyjadřuje kvalitu přijímaného vysílání. Původně byl určen pro vyjádření kvality hovorových služeb, jelikož bylo jeho použití pro tyto účely dostatečné. Při použití parametru RxQual je problematické měření paketově orientovaného přenosu dat. Toho se využívá v technologii GPRS. Vzhledem k tomu, že RxQual mapování není dostatečně přesné (měření se provádí na rádiovém bloku, který se skládá ze 4 burstů) a může nabývat pouze osmi hodnot. Pro standard EGPRS (EDGE) se již využívá parametr BEP, který je pro paketové přenosy výhodnější a je níže podrobněji popsán. Jak již bylo řečeno, RxQual může nabývat osmi hodnot. Kód 0 značí nejvyšší kvalitu a naopak kód 7 nejhorší. Tento kód přímo závisí na hodnotě BER. Čím vyšší je bitová chybovost, tím větší je číslo kódu RxQual. Hodnoty BER v rozsahu 0.2-12.8 % jsou logaritmicky namapovány na tyto kódy. Konkrétní přiřazení je v tabulce 2. Měření se provádí ještě před použitím Viterbiho dekodéru. Ten umožňuje opravit chyby a zlepšit tak hodnotu BER. Měření je prováděno společně s RxLev v pravidelných intervalech a průměrné výsledky jsou z MS zasílány na BTS. Stejně jako v případě RxLev je parametr RxQual Sub využíván při aktivovaném DTX a RxQual Full, pokud se DTX nevyužívá.[2][7]

2.4 FER

FER (Frame Erasure Rate) jeden z důležitých parametrů, který přímo souvisí s konečnou kvalitou hlasu pro koncové uživatele a ovlivňuje tak hodnotu MOS. Při výpočtu hodnoty BER se

Tabulka 3: Mapování hodnot MEAN BEP

MEAN_BEP kód	BEP GMSK	BEP 8-PSK
0	> -0.60	> -0.60
1	od -0.70 do -0.60	od -0.64 do -0.60
2	od -0.80 do -0.70	od -0.68 do -0.64
⋮	⋮	⋮
29	od -3.50 do -3.40	od -3.44 do -3.28
30	od -3.60 do -3.50	od -3.60 do -3.44
31	<-3.60	<-3.60

nebere v úvahu zahození rámce z důvodu chyby CRC. Tento problém popisuje právě parametr FER (vzorec 2). Pro měření je využívána třída 1a, která nese nejvíce citlivé bity rámců pro přenos hlasu. Třída 1a využívá k zabezpečení 3 bity CRC, ale i přes to, že CRC bloku odpovídá, nemusí být kvalita hlasu optimální. Bitové chyby se mohou projevit v nechráněné třídě 2 [8]. V mnoha případech dochází ke zhoršení kvality hlasu už po překročení 1% hodnoty FER. Na hodnotě FER závisí také, jaké kodeky jsou využívány. Ty, které využívají nižší bitrate, jsou obecně více citlivější na ztrátu rámců. Jelikož se FER opět vypočítá jako průměr z několika hodnot, tak se pro měření doporučuje využívat menší časový rozsah (např. 2 vteřiny, což jsou 4 multirámce). Prahová hodnota pro takto malé okno je v rozsahu 2–8 %. Opět je zde také rozdělení na FER Full a Sub.[6][21]

$$FER = \frac{\text{Počet rámců s chybným CRC}}{\text{Počet celkově přijatých rámců}} \quad (2)$$

2.5 BEP

BEP (Bit Error Probability) se využívá u technologie EDGE pro výběr nejvhodnější modulační a kódovací. V porovnání s RxQual BEP lépe ukazuje kvalitu kanálu a mění se přenosové podmínky[1][6]. Měření se provádí pro každý burst bloků přijatých v jednom SACCH multirámcí. Parametr BEP se dále dělí na CV_BEP a MEAN_BEP. MEAN_BEP je vypočítán jako průměr ze 4 burstů a je využíván ke srovnání poměru C/I a rychlosti. Tato hodnota je poté namapována na kódy 0-31, přičemž záleží také na použité modulaci. Modulace GMSK a 8-PSK mají odlišné mapování hodnot. CV_BEP je koeficient kvality kanálu vypočítaný dle vzorce 3. Kde std (BEP) značí standardní odchylku BEP, vypočítaná podle vzorce 4. V této hodnotě se projeví efekty frequency hoppingu a ztráty/zisky vzniklé prokládáním. Naměřené hodnoty jsou namapovány na kódy 0-7. Na použité modulaci již nezáleží, hodnoty jsou pro obě modulační stejné. Zprůměrované výsledky MEAN_BEP a CV_BEP jsou zasílány na BTS. Díky velmi častému hlášení je možné se rychle přizpůsobit na měnící se přenosové podmínky a zajistit tak co nejvyšší rychlost přenosu dat.[10]

Tabulka 4: Mapování hodnot CV BEP

CV_BEP kód	Rozsah CV_BEP
0	$2.00 > CV_BEP > 1.75$
1	$1.75 > CV_BEP > 1.50$
2	$1.50 > CV_BEP > 1.25$
3	$1.25 > CV_BEP > 1.00$
4	$1.00 > CV_BEP > 0.75$
5	$0.75 > CV_BEP > 0.50$
6	$0.50 > CV_BEP > 0.25$
7	$0.25 > CV_BEP > 0.00$

$$CV(BEP) = \frac{\text{std}(BEP)}{\text{mean}(BEP)} \quad (3)$$

$$\text{std}(BEP) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^4 (BEP_i - \text{mean}(BEP))^2} \quad (4)$$

$$\text{mean}(BEP) = \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^4 BEP_i \quad (5)$$

3. generace UMTS/CDMA2000

Do 3. generace mobilních sítí se řadí technologie označovaná jako UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems) a CDMA2000.

UMTS kombinuje vlastnosti přepínaných okruhů využívané pro hlasové služby a síť založenou na přepínání paketů pro datové služby. UMTS také prošel několika vylepšeními. Zvýšení rychlostí přineslo zavedení protokolu HSPA, který je vylepšením předchozího protokolu WCDMA. Na rozdíl od GSM se pro mobilní zařízení využívá označení UE (User Equipment) a základnová stanice je označena jako NodeB. Mezi hlavní ukazatele kvality patří RSCP, CQI a Ec/No. Pro řízení výkonu slouží především parametr SIR. Na NodeB je zasílán také parametr RSSI.[1]

Na vývoji CDMA2000 pracovala standardizační skupina 3GPP2. Jedná se o evoluci standardu CDMAOne nazývaným také IS-95, který byl určen především pro hlasové služby. CDMA 2000 přineslo navýšení přenosových rychlostí pro přenos dat. Mezi země, kde byl tento standard zaveden, se řadí především USA, Japonsko a Korea. Stejně jako v případě UMTS byl CDMA2000 postupně vylepšován a zahrnuje tak několik vývojových stupňů.

3.1 CQI

CQI (Channel Quality Indication) je kvalitativní parametr využívaný jak v 3G, tak 4G sítích. Dalo by se říci, že neukazuje přímo kvalitu rádiového kanálu, ale spíše rychlost přenosu, které je schopno konkrétní UE za daných rádiových podmínek zvládat [11]. Měření provádí pouze UE ve směru downlink. CQI může nabývat hodnot 1-30, přičemž 1 znamená nejhorší kvalitu a 31 nejlepší. Kód CQI o velikosti 5 bitů je hlášen na NodeB skrze uplink kanál HS-DPCCH v pravidelných intervalech (určuje NodeB), a to každý 1, 2, 4, 5, 10, 20, 40 nebo 80. subrámeček. Délka jednoho subrámečku je 2ms, tudíž přenos CQI bude trvat 2-160ms. Je také možné toto hlášení zakázat úplně. Dodatečně se také hlásí CQI společně s každým potvrzením ACK nebo NACK [12]. Na základě hodnoty CQI určí tzv. TRFC (Transport Format and Resource Combination). Ten určuje:

- Využití modulace (QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
- Počet paralelně využitých HS-DSCH kanálů (1-15)
- Velikost přenosového bloku (Transport Block Size)

Velikost přenosového bloku poté ovlivňuje výslednou rychlost přenosu. Hodnota CQI je určena tak, aby hodnota BLER nebyla větší než 10 %. Důvodem zavedení CQI je ten, že různá UE mohou podporovat různé přenosové rychlosti, a to i při shodných podmínkách, což by při hlášení pouze přijímané úrovně nebylo bráno v potaz. Vždy závisí na implementaci přijímače v UE. Záleží také, do které kategorie UE spadá, jelikož kategorie ovlivňuje maximální velikost bloku a s ním příslušné parametry, které je schopno zpracovat. UE by za takové situace měla NodeB

Tabulka 5: Mapování hodnot BLER

BLER_LOG kód	Vypočtená hodnota BLER
0	Transportní kanál BLER=0
1	$-\infty < \text{Log}_{10}(\text{Transportní kanál BLER}) < -4.030$
2	$-4.030 \leq \text{Log}_{10}(\text{Transportní kanál BLER}) < -3.965$
3	$-3.965 \leq \text{Log}_{10}(\text{Transportní kanál BLER}) < -3.900$
\vdots	\vdots
61	$-0.195 \leq \text{Log}_{10}(\text{Transportní kanál BLER}) < -0.130$
62	$-0.130 \leq \text{Log}_{10}(\text{Transportní kanál BLER}) < -0.065$
63	$-0.065 \leq \text{Log}_{10}(\text{Transportní kanál BLER}) \leq 0.000$

informovat o využití power offsetu. Ten indikuje, že UE je schopno přijmout blok při nižším přenosovém výkonu. Výhoda použití CQI spočívá v tom, že pro každého uživatele může být použita rozdílná modulace a kódování, aniž by došlo k negativnímu ovlivnění ostatních uživatelů.[11][1]

CQI kód lze vypočítat na základě hodnoty SINR. Tento parametr je popsán v systému LTE. Ve specifikacích 3GPP jsou uvedeny tabulky CQI pro jednotlivé kategorie UE. Jednotlivé kategorie postupně přibývají s novými verzemi specifikací. V nejnovější specifikaci 15.0 z července 2018 je 38 kategorií a 11 mapovacích tabulek (A-K). Kromě kategorie také závisí na využití MIMO (Multiple-input multiple-output) technologie a využití modulace 64-QAM.

3.2 BLER

BLER (Block Error Rate) je poměr mezi chybně přijatými bloky ku sumě všech přijatých bloků za danou dobu měření (vzorec 6). Chybně přijatým blokem se myslí ten, který je zahozen z důvodu špatného CRC. Neříká však nic o tom, kolik bitů v tomto bloku je přijato s chybou. Chybné bloky jsou poté přeneseny znovu. BLER se využívá také v dalších technologiích, především u GPRS/EGPRS [13]. Měření se provádí ve směru downlink pro každý transportní kanál, který využívá ochranu pomocí CRC součtu. Jestli je transportní kanál chráněn pomocí CRC je možné zjistit z NBAP (Node B Application Part) Radio Link Setup Request nebo NBAP Radio Link Reconfiguration Preparation Request zprávy. Výsledky měření jsou namapovány na kódy BLER_LOG (0-63) a zasílány na NodeB. Konkrétní přiřazení hodnot ukazuje tabulka 6. Výsledky neobsahují jednotky ale mohou být vyjádřeny v procentech. Poté jsou ještě zlogaritmovány. Například hodnota BLER 75% odpovídá kódu 62, jelikož $\text{Log}_{10}(0,75) = -0,125$. Kód 0 odpovídá stavu, kdy je hodnota BLER nulová, tudíž v případě, že jsou všechny bloky přijaty bez chyby.

$$BLER = \frac{\text{Počet bloků s chybným CRC}}{\text{Počet celkově přijatých bloků}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Tabulka 6: Mapování hodnot RSCP

RSCP kód	Přijímaná úroveň P-CPICH (RSCP) [dBm]
0	< -115
1	od -115 do -114
2	od -114 do -113
⋮	⋮
89	od -27 do -26
90	od -26 do -25
91	> -25

3.3 RSCP

RSCP (Received Signal Code Power) Tento parametr se využívá pro měření síly přijímaného signálu především v sítích UMTS. Obecně však lze RSCP využít u každého systému využívající technologii CDMA. Síla signálu je měřena UE ve směru downlink na FDD a také na TDD v jednotkách dBm. Konkrétně je pro měření na FDD využíván pilotní kanál P-CPICH a v případě TDD je využíván kanál P-CCPCH. Pokud je využita v přenosu kanálu P-CPICH diverzita, tak se výkonová úroveň měří z každé antény zvlášť a je poté sečtena. Výsledky jsou opět zasílány zpět na NodeB ve formě kódu CPICH_RSCP_LEV popř. PCCPCH_RSCP_LEV. Hodnoty od -115 dBm do -25 dBm jsou na tyto kódy (0-91) namapovány s krokem 1 dBm (tabulka 6). Na základě RSCP je možné porovnávat výkonnostní rozdíly mezi jednotlivými buňkami a umožnit tak vybrat nejvhodnější buňku podle síly signálu nebo také provést handover. Výpočet RSCP ukazuje vzorec 7.[14][15]

$$RSCP[\text{dBm}] = RSSI + Ec/No \quad (7)$$

3.4 RSSI

RSSI (Received Signal Strength Indication) je úroveň přijímaného výkonu. Čím vyšší je hodnota RSSI tím silnější je přijímaný signál. Tento parametr se využívá také u dalších standardů, např. typicky v 802.11. Hodnota RSSI zahrnuje signály z aktivní buňky, sousedních buněk a také úroveň šumu. V UMTS se měření týká FDD i TDD na celém 5 MHz pásmu v přiděleném kanálu. Hodnota je uváděna v jednotkách dBm a v rozsahu od -94 dBm do -32 dBm je namapována s krokem 1 dB na kódy UTRA_carrier_RSSI_LEV (0-63). Ty jsou poté zasílány na NodeB. RSSI lze vypočítat dle vzorce 8.[15][16][14]

$$RSSI[\text{dBm}] = RSCP[\text{dBm}] - Ec/No[\text{dB}] \quad (8)$$

Tabulka 7: Mapování hodnot RSSI

UTRA_carrier_RSSI_LEV kód	Přijímaná úroveň RSSI [dBm]
0	< -94
1	od -94 do -93
2	od -93 do -92
⋮	⋮
61	od -34 do -33
62	od -33 do -32
63	> -32

3.5 E_c/N_o

Vyjadřuje poměr mezi přijatou energií z pilotního signálu CPICH za jeden čip (E_c) vůči síle hustoty šumu (N_o)[14]. Čipy značí bitovou posloupnost (jeden symbol tvoří několik čipů). Využívají se v technice přímého rozprostřeného spektra (DSSS)[17]. Zjednodušeně lze také říci, že se jedná o poměr mezi úrovní přijímaného signálu (RSCP) vůči součtu úrovní všech signálů na stejné frekvenci (RSSI), což ukazuje vzorec 10 a 9. Čím je tedy E_c/N_o vyšší, tím lépe dochází k odlišení užitečného signálu od šumu. Tato hodnota je bezrozměrná, nejčastěji je uváděna v přepočtu na dB. Jelikož hodnota RSSI je vyšší nebo rovna RSCP, bude výsledná hodnota záporná, popř. nulová [1]. Výsledky jsou zasílány jako tzv. Measurement Report na NodeB a dále na kontrolér (RNC) ve formě kódu CPICH_ E_c/N_o (0-25). Na tyto kódy jsou namapovány hodnoty od -24 dB do 0 dB s krokem 1 dB. V případě makrodiverzitního příjmu se hlášení zasílá pro každou buňku zvlášť. RNC poté výsledky zpracovává a pokud dojde k poklesu hodnot pod určitou mez (threshold), zařídí handover [16][15]. Samotný parametr E_c/N_o není postačující k popsání kvality kanálu, jelikož je měřen společný (Common) kanál CPICH, ale vyhrazené (Dedicated) kanály DPxCH se nezohledňují. Zbytek vysílaného výkonu je buď nevyužit nebo jej dynamicky využívá HS-DSCH (HSDPA transportní kanál)[18]. Kanál CPICH je vysílán konstantním výkonem, obvykle se jedná o 10 % (2 W/ 33 dBm) z celkového vysílaného výkonu (ten je typicky 20 W/43 dBm). Pokud nebude v buňce žádný provoz, tak budou hodnoty RSCP a RSSI v ideálním případě (nulový šum) shodné a E_c/N_o bude v tomto případě rovno 0 dB. Pokud ale bude buňka vytížena HSDPA provozem, dojde ke snížení hodnoty E_c/N_o . Při typických výkonech a 100 % vytížení bude hodnota E_c/N_o nejlépe -10 dB. HSDPA provoz tedy může ovlivnit měření a zkreslit tak výsledky rádiového kanálu.[19]

$$\frac{E_c}{N_o} = \frac{RSCP}{RSSI} \quad (9)$$

$$\frac{E_c}{N_o} = 10 \log \cdot \frac{\text{Přijímaná úroveň CPICH}}{\text{Celková přijímaná úroveň}} \quad (10)$$

Tabulka 8: Mapování hodnot E_c/N_o

CPICH_ E_c/N_o kód	Přijímaná úroveň CPICH vůči šumu (E_c/N_o) [dB]
0	< -24
1	od -24 do -23.5
2	od -23.5 do -23
\vdots	\vdots
47	od -1 do -0.5
48	od -0.5 do 0
49	> 0

$$E_c/N_o[\text{dB}] = RSCP[\text{dBm}] - RSSI[\text{dBm}] \quad (11)$$

3.6 SIR

SIR (Signal to Interference Ratio) je poměr mezi přijatou úrovní signálu vůči úrovni interference. Tento parametr slouží v případě WCDMA systémů ke kontrolování vysílacího výkonu UE. Jestliže by nebyl výkon regulován, tak by mohlo jedno zařízení UE s vysokým výkonem výrazně ovlivňovat ostatní uživatele a blokovat velkou část kapacity v buňce. Hodnota SIR je v rozsahu od -11 do 20 dB namapována na kódy UE_SIR (0-63) s krokem 0,5 dB a zasílána na NodeB. Pokud hodnota SIR klesne pod určitou mez, NodeB nařídí UE zvýšit výkon, a naopak při vyšší hodnotě výkon snížit. Měření a následné korekce jsou prováděny v pravidelných intervalech s frekvencí 1,5 kHz[20]. SIR lze v případě použití v UMTS FDD vyjádřit vzorcem 13, kde ISCP (Interference Signal Code Power) představuje interferenci v přijímaném signálu na pilotních bitech.

SF (Spreading factor) označuje činitel rozprostření, tj. poměr čipové rychlosti ku modulační rychlosti (vzorec 12). V případě systému HSDPA je na fyzické vrstvě zrušena variabilita SF a je použita konstantní hodnota SF=16.[15]

$$SF = \frac{\text{Čipová rychlost}}{\text{Modulační rychlost}} \quad (12)$$

$$SIR[\text{dB}] = \frac{RSCP}{ISCP} \cdot \frac{SF}{2} \quad (13)$$

V případě využití TDD se využívá vzorec 14

$$SIR[\text{dB}] = \frac{RSCP}{ISCP} \cdot SF \quad (14)$$

Tabulka 9: Mapování hodnot SIR

UE_SIR kód	Naměřená úroveň SIR [dB]
0	< -11
1	od -11 do -10.5
2	od -10.5 do -10
\vdots	\vdots
61	od 19 do 19.5
62	od 19.5 do 20
63	> 20

3.7 CDMA2000

Měření se týká pilotních signálů, na kterých se měří poměr E_c/I_o . Jedná se o ekvivalent parametru RSRP využívaný v sítích LTE nebo RSCP z UMTS systémů. Je určen ke stanovení síly přijímaného signálu, který slouží pro výběr vhodné buňky nebo handover.

4 4. generace LTE

4. generace je označována jako LTE (Long Term Evolution). Formálně však stále spadá do 3. generace. Až LTE Advanced lze řadit jako plnohodnotné 4G. Návrh byl dokončen v roce 2005 a jedná se o poslední zavedený standard. Mezi hlavní vlastnosti se řadí např. zvýšení přenosové rychlosti, snížená latence, snížená cena za bit, zjednodušení síťové architektury, lepší využití pásma.[14] Stejně jako u 3G je zde uživatelské mobilní zařízení značeno jako UE. Rozdílem je v označení základnové stanice, která se nazývá eNodeB (Evolved Node B). Hlavními kvalitativními parametry jsou zde RSRP a RSRQ. Ty pro svůj výpočet využívají RSSI. Samotné RSSI se nehlásí, ale je využíváno pouze v rámci UE. Dále se využívají E_c/N_0 a CQI popsané v třetí generaci.

4.1 RSRP

RSRP (Reference Signal Received Power) Je lineární průměr úrovně přijímaného referenčního signálu. Tyto referenční signály, které jsou specifické pro každou buňku, jsou přenášeny pomocí zdrojových elementů. Zdrojový element představuje nejmenší jednotku fyzické vrstvy (jeden OFDM symbol v rámci jedné subnosné) [22]. Zde je vidět rozdíl mezi RSSI a RSRP, jelikož RSSI je měřeno na celém pásmu a zahrnuje tak celý LTE rámec (a také šum) [23]. Díky RSRP je možné v sítích LTE porovnávat síly signálů z jednotlivých buněk a umožnit tak podle výkonu vybrat vhodnou buňku nebo provést handover. Jedná se o ekvivalent parametru RSCP používaný v systémech UMTS. Pro měření RSRP se konkrétně využívají referenční signály R0. Pokud je UE schopno za použití druhé antény detekovat referenční signál R1, tak jej může využít jako doplněk k R0 pro výpočet RSRP. V případě, že eNodeB využívá více antén, než má k dispozici UE, tak se do měření RSCP signály z těchto antén nezahrnují. Měření, která jsou prováděna mezi buňkami se stejnou frekvencí se označují jako intra-frequency measurement, při různé frekvenci se využívá označení inter-frequency measurement. V obou případech se dále dělí na IDLE a CONNECTED. Podle specifikací 3GPP není určeno kolik OFDM symbolů se má zprůměrovat pro výpočet RSRP. Místo toho jsou zde pouze požadavky na přesnost měření (tabulka 10) [24][25]. Pro detekování hodnoty RSRP je také potřeba, aby hodnota SINR byla minimálně -20 dB. Výsledky jsou zasílány na eNodeB jako RRC zpráva ve formě kódu (0-97) na které jsou namapované hodnoty od -140 dBm do -44 dBm s krokem 1 dBm [26]. Jako velmi dobrá hodnota je považována přibližně -50 dBm. Hodnota -90 dBm stále umožňuje příjem, ale rychlosti již budou nižší [1]. Pro výpočet hodnoty RSRP lze také využít vzorec 15, kde N značí počet zdrojových bloků (6,15,25,50,75,100). Jejich počet je spojen s šířkou kanálu, která dle 3GPP specifikací může být 1.4,3,5,10,15 nebo 20 MHz.[27][28]

$$RSRP[\text{dBm}] = RSSI[\text{dBm}] - 10 \cdot \log(12 \cdot N) \quad (15)$$

Tabulka 10: Požadavky na přesnost měření RSRP a RSRQ [25]

Parametr	Absolutní přesnost	Relativní přesnost
RSRP intra-freq	$\pm 6\text{dB}$	$\pm 3\text{dB}$
RSRP inter-freq	$\pm 6\text{dB}$	$\pm 6\text{dB}$
RSRQ intra-freq	$\pm 3.5\text{dB}$	n/a
RSRQ inter-freq	$\pm 3.5\text{dB}$	$\pm 4\text{dB}$

Tabulka 11: Mapování hodnot RSRP

RSRP kód	Úroveň přijímaného signálu (RSRP) [dBm]
0	< -140
1	od -140 do -139
2	od -139 do -138
\vdots	\vdots
95	od -46 do -45
96	od -45 do -44
97	> -44

4.2 RSRQ

RSRQ (Reference Signal Received Quality) slouží v sítích LTE k určení kvality rádiového kanálu a lze jej vyjádřit vzorcem 16 a po úpravě 17. N zde značí stejně jako v případě RSRP počet zdrojových bloků. Na rozdíl od RSRP, který popisuje pouze sílu přijímaného signálu, RSRQ zohledňuje také interference díky zahrnutí RSSI. RSRQ se využívá jako doplněk, pokud samotné RSRP není dostatečné k vykonání handoveru nebo změny buňky, což se týká především okrajových částí buňky. Hodnoty v rozmezí od -19,5 dB do -3dB s krokem 0,5dB jsou namapovány na kódy (0-34) a zasílány na eNodeB jako RRC zpráva. Hodnoty okolo -3 dB lze naměřit pouze pokud není buňka nijak zatížena a interference společně s šumem jsou zanedbatelné. Při plném zatížení bude hodnota přibližně alespoň -11 dB. Stejně jako v případě RSRP jsou zde pouze požadavky na přesnost měření (tabulka 10) [24][14]

$$RSRQ = N \cdot \frac{RSRP}{RSSI} \quad (16)$$

$$RSRQ[\text{dB}] = 10 \cdot \text{Log}(N) + RSRP[\text{dBm}] - RSSI[\text{dBm}] \quad (17)$$

4.3 SINR

SINR (Signal-to-Interference plus Noise Ratio) jedná se o poměr úrovně přijatého signálu k sumě interference a šumu. Často se také pro měření uvádí pouze SNR, který nepočítá s interferencí.

Tabulka 12: Mapování hodnot RSRQ

RSRQ kód	Úroveň kvality přijímaného signálu (RSRQ) [dB]
0	< -19.5
1	od -19.5 do -19
2	od -19 do -18.5
⋮	⋮
32	od -4 do -3.5
33	od -3.5 do -3
34	> -3

Specifikace 3GPP parametr SINR nezahrnují a UE výsledky nezasílá zpět do sítě. SINR je měřen a využíván pouze interně v UE. Konkrétní implementace se může lišit a záleží pouze na výrobci, jak k implementaci přistoupí, což znesnadňuje porovnávání výsledků. SINR je využíván pro lepší vyjádření vztahu rádiových podmínek a propustností [25]. V LTE se stejně jako v systému UMTS využívá pro výpočet CQI. SINR lze vypočítat podle obecného vzorce 18.

$$SINR = \frac{P}{I + N} \quad (18)$$

kde:

- P je výkon užitečného signálu (zde jsou především zahrnuty referenční signály a sdílené kanály PDSCH)
- I je výkon interferencí
- N je výkon teplotního šumu

V případě systému LTE lze za výkon užitečného signálu dosadit hodnotu parametru RSRP.

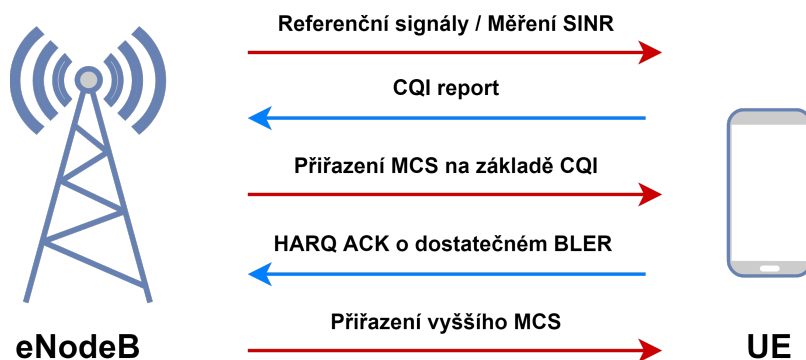
4.4 CQI v LTE

V případě LTE může CQI nabývat 15 hodnot a jedná se tedy o 4 bitovou hodnotu. V případě HSPA se jednalo o 5 bitové číslo. Výsledky jsou zasílány zpět na eNodeB. Na rozdíl od HSPA, kde se koncovému zařízení přiděloval tzv. TRFC, tak v LTE se přiřazuje parametr MCS (Modulation and Coding Scheme), což je kombinace použité modulace a kódového poměru. Podrobněji je parametr CQI popsán v 3. generaci. Tabulka také ukazuje odpovídající hodnotu SINR, ta však není součástí specifikací 3GPP. [32]

Obrázek 1 ukazuje proces přiřazení MCS. Nejdříve je měřena na koncovém zařízení hodnota SINR. Ta je namapována na kód CQI, který je zaslán na eNodeB. Na základě kódu CQI je přiřazen parametr MCS. Dále je možné společně s HARQ (Hybrid automatic repeat request) odeslat potvrzení o dostatečné úrovni BLER, která by měla být pod 10%. Pokud je to tedy na základě dostatečně nízké hodnoty BLER možné, tak dojde k využití MCS parametrů odpovídající

Tabulka 13: Mapování hodnot CQI [35]

CQI	Modulace	Kódový poměr	SINR [dB]
0	Mimo rozsah		
1	QPSK	0.076	-6.7
2	QPSK	0.12	-4.7
3	QPSK	0.19	-2.3
4	QPSK	0.3	0.2
5	QPSK	0.44	2.4
6	QPSK	0.59	4.3
7	16QAM	0.37	5.9
8	16QAM	0.48	8.1
9	16QAM	0.6	10.3
10	64QAM	0.45	11.7
11	64QAM	0.55	14.1
12	64QAM	0.65	16.3
13	64QAM	0.75	18.7
14	64QAM	0.85	21.0
15	64QAM	0.93	22.7



Obrázek 1: Proces přiřazení MCS na základě CQI [36]

vyššímu CQI. Díky tomu lze zvýšit efektivitu a přenosovou rychlost. Podobný postup bude i v případě systému HSPA při přiřazování parametru TRFC.

5 Webová aplikace

Cílem praktické části bakalářské práce je vytvoření webové aplikace pro výpočty a poskytnutí důležitých informací o kvalitativních parametrech v mobilních sítích, které jsou popsány v teoretické části. V této kapitole budou popsány technologické prostředky použité při vývoji a také popis samotné aplikace. Některé parametry obsahují dodatečné výpočty nebo jiné způsoby a jsou samostatně vysvětleny.

5.1 Použité prostředky pro vývoj aplikace

Pro vývoj aplikace jsem využil vývojové prostředí NetBeans, vyvíjené společností Oracle Corporations. Toto prostředí je poskytováno zdarma a lze jej získat ze stránek <https://netbeans.org/>. NetBeans umožňuje vývoj v několika jazycích, jedná se například o Javu, C, C++, PHP, HTML5, JavaScript a další.

Webová aplikace je napsána v jazyce HTML5 s využitím JavaScriptu, CSS. Dále jsem využil frameworky jQuery Mobile ve verzi 1.4.5 a Bootstrap ve verzi 3.3.7. Tyto technologie již delší dobu podporují všechny známé webové prohlížeče. Ze strany uživatele tak není potřeba cokoli instalovat, vše je dostupné skrze webový prohlížeč, přičemž interaktivní části jsou zpracovávány pomocí JavaScriptu na straně uživatele. Aplikaci je tedy možné nasadit na http server např. Apache.

5.1.1 HTML5 a JavaScript

HTML5 (HyperText Markup Language 5) je nejnovější verze značkovacího jazyka HTML pro tvorbu webových stránek vydaná v roce 2014. HTML5 umožňuje, aby se ze značkovacího jazyka HTML stalo plnohodnotné rozhraní API pro vývoj webových aplikací. Mezi nejvýznamnější změny se řadí například zahrnutí podpory pro multimediální a grafický obsah. Můžeme tak jednodušeji vytvářet stránky obsahující video, audio, vektorovou grafiku (SVG), bitmapovou grafiku (canvas) aniž bychom potřebovali dodatečně instalovat doplňky. JavaScript je základní jazyk pro vývoj webových aplikací. Jedná se o skriptovací, interpretovaný, objektově orientovaný jazyk a je možné jej vkládat přímo jako součást HTML kódu. Kompilaci zajistí webový prohlížeč. Díky JavaScriptu můžeme vytvářet dynamicky aktualizovaný obsah, funkčnost ovládacích prvků, zpracování výpočtů apod. Jedná se o klientský skript, což znamená, že je kód programu zasílán klientovi a teprve zde dojde ke zpracování. Lze jej však také využít na straně serveru nebo jako rozšíření pro klasické aplikace.[40][41]

5.1.2 CSS

CSS (Cascading Style Sheets), česky kaskádové styly, je jazyk pro popis formátování webových stránek napsané v HTML. Jinými slovy popisuje, jak budou elementy HTML zobrazeny. CSS tak umožňuje například definovat jejich barvy, velikosti, pozice, okraje apod. Nahradil nedostatečné

HTML tagy a místo nich lze využít jeden soubor, který pomocí tříd a identifikátorů definuje vzhled celé stránky. Odpadá tak nutnost popisovat každý element zvlášť. V současné době se využívá 3. verze CSS nazvaná CSS3.[43]

5.1.3 Bootstrap

Bootstrap je populární HTML5, CSS a JavaScriptový framework pro tvorbu webových stránek a aplikací. Jedná se tedy o ucelenou sadu knihoven a šablon, které umožní snadněji vytvářet komponenty uživatelského rozhraní jako jsou např. formuláře, navigace, tlačítka, tabulky apod. Každá komponenta se skládá z HTML elementů, CSS stylů a v případě potřeby také JavaScriptového kódu. Díky předdefinovaným CSS stylům získáme graficky moderně zpracované elementy a odpadá tak nutnost tyto elementy navrhovat a tvořit v CSS. Od verze 2.0 je také podporován responzivní design, což umožní přizpůsobení obsahu stránky v závislosti na velikosti okna prohlížeče, tím je zajištěna i podpora pro další zařízení jako jsou telefony, tablety apod. Bootstrap také využívá pro svou funkci JavaScriptové komponenty od jQuery. Jedná se o opensource řešení, které je poskytováno zdarma a je jej možné využívat i pro komerční účely. V případě aplikace je Bootstrap využit především pro vytvoření navigačního menu a rozložení stránky za použití kontejnerů.[39]

5.1.4 jQuery

jQuery je podobně jako Bootstrap framework pro tvorbu webových stránek. V případě verze jQuery Mobile je kladen důraz na ovládání dotykem a přizpůsobení ovládacích prvků pro pohodlnější ovládání. CSS styly od jQuery jsou využity pro vytvoření uživatelských vstupů, tabulek apod. Důležité jsou především JavaScriptové knihovny, které zjednodušují psaní kódu samotného JavaScriptu. Umožní lépe přistupovat k jednotlivým elementům díky zjednodušení manipulace s DOM (Document Object Model), což je objektově orientovaná reprezentace HTML dokumentu. DOM poskytuje přístup k obsahu a jeho modifikaci. Dále například velmi zjednodušuje používání AJAXU, který umožňuje posílat data na server a také je přijímat bez nutnosti znovunačtení stránky. Díky JQuery tak můžeme vytvořit kratší a jednodušší kód než pomocí samotného JavaScriptu. Pro svou funkčnost jej využívá i framework Bootstrap. Stejně jako v jeho případě je jQuery opensource řešení a lze jej volně využívat.[42]

5.2 Popis aplikace

5.2.1 Rozvržení souborů

HTML soubory se nacházejí v kořenovém adresáři. Základním HTML souborem je index.html, který obsahuje úvodní stránku celé aplikace. Další HTML soubory jsou pojmenovány podle parametrů, které představují. Složka css obsahuje css soubory a složka js JavaScriptové soubory pro jednotlivé parametry. Ta pro větší přehlednost obsahuje složku libs, která obsahuje knihovny od

jQuery a Bootstrapu. Obrázky jsou umístěny ve složce images společně s gifem patřící Bootstrap pro indikaci načítání stránky.

5.2.2 Uživatelské prostředí

Úvodní stránka obsahuje základní popis aplikace, s jakými parametry pracuje a jaké jsou využity technologie. Součástí je také navigační lišta v horní části, která je společná pro každou stránku a slouží k vybrání požadovaného parametru. Nejdříve je uveden název aplikace Application for calculations of qualitative parameters. Poté se zde nachází odkaz Introduction, který odkazuje na úvodní stránku, kterou představuje soubor index.html. Poslední část tvoří jednotlivá rozevírací (dropdown) menu. Jejich název je podle technologií dané generace (GSM, UMTS, LTE a 5G NR). Po kliknutí se zobrazí nabídka pro výběr jednotlivých parametrů, které se do této generace řadí. Jelikož jsou některé parametry závislé na výpočtu dalšího parametru, tak jsou společně součástí jedné stránky. To se týká konkrétně parametrů RxQual s BER v GSM a CQI s SINR v LTE a UMTS.

Stránky s parametrem jsou obecně rozvrženy tak, že jako první obsahují základní popis daného parametru a popis k čemu slouží. Dále následují výpočty pro daný parametr s uživatelskými vstupy. Pokud se daný parametr nedá vypočítat pomocí vzorce, ale je pouze měřen pomocí UE, tak je zde výpočet vynechán, což se týká parametrů RxLev, RSCP a RSSI. Vzorce pro výpočty jsou uvedeny v teoretické části.

Pokud daný parametr je součástí 3GPP specifikací a výsledky jsou reportovány zpět do sítě, tak je zde obsažena mapovací tabulka na příslušné kódy (Mapping table). Tyto tabulky jsou uvedeny v teoretické části, kdy přijímaná úroveň signálu odpovídá danému kódu. Tabulka je v případě potřeby rozdělena do tří částí, aby nebyla nepřiměřeně dlouhá. Pro lepší přehlednost je sloupec Code zvýrazněn odlišnou barvou. Jako reference je pod tabulkou poté uveden hypertextový odkaz na stránky ETSI.org obsahující PDF soubor, kde lze příslušnou tabulku k danému parametru dohledat popř. lze najít další informace, týkající se dané problematiky pro příslušnou generaci.

Oblast výpočtů je tvořena uživatelskými vstupy, do kterých lze pomocí klávesnice zadávat číselné hodnoty. Vstupy obsahují pro uživatele dodatečné informace o vstupních hodnotách, které by měl uživatel zadávat. Především se tak jedná o typické rozsahy ve kterých se dané vstupní parametry nacházejí, využití pouze celých čísel apod. Ty jsou vytvořeny pomocí zástupného textu (placeholder). Po zadání vstupu uživatelem je tento placeholder smazán, a naopak při prázdném vstupu (smazání hodnoty zadané uživatelem) je opět zobrazen. Typické hodnoty představují většinou rozsahy hodnot, které se mapují na kódy podle 3GPP specifikací. Jelikož nejnížší a nejvyšší kód v mapovací tabulce představuje interval menší/větší než daná hodnota, tak nejsou uživatelské vstupy přímo omezeny. Nejnížší, popř. nejvyšší hodnota může být variabilní a záleží tedy na přijímači zařízení, kterou úroveň je schopen zaznamenat. Kód, který odpovídá nejnížší přijímané úrovni tedy v praxi představuje rozsah např. 10dBm.

U některých parametrů je možnost výběru hodnoty z menu, čehož jsem využil např. u šířky pásma v LTE systémech. Jak je popsáno v teoretické části, tak může nabývat šesti hodnot. Šířka pásma je poté spjata s počtem zdrojových bloků, které jsou nutné pro výpočet výsledné hodnoty. Před uživatelskými vstupy se nachází popis daného vstupu a jednotky, ve kterých by měl uživatel hodnoty zadávat.

Pod uživatelskými vstupy se nachází tlačítko s nápisem Calculate, které slouží ke zpracování vstupů uživatele, vykonání výpočtů a jejich následné zobrazení. Uživatelské vstupy jsou také kontrolovány na jejich správnost. Podle potřeby se kontroluje správnost zadaných hodnot, např. jestli jsou hodnoty typu integer (celé číslo) popř. kontrola kladných hodnot pokud je vyžadováno. Dále je zde samozřejmě kontrola, jestli jsou vyplněná všechna potřebná pole. Pokud uživatel zadá špatné hodnoty nebo nevyplní některá potřebná pole, tak je v oblasti tlačítka zobrazeno vyskakovací okno (popup), které o chybě uživatele informuje.

Výsledky výpočtů jsou za předpokladu správného vyplnění požadovaných hodnot zobrazeny v prostoru pod tlačítkem Calculate. Je zde vypočítaná hodnota daného parametru pomocí vzorce, v případě potřeby je zaokrouhlena na čtyři desetinná místa a také v jakých jednotkách je hodnota uvedena. U většiny parametru je poté na základě této hodnoty vypočítán kód, který se hlásí na základnovou stanici dle mapovací tabulky dané specifikací 3GPP. U některých parametrů je také vyjádřeno hodnocení rádiových podmínek (RF condition), které může nabývat čtyř hodnot a to Excelent, Good, Mid Cell a Cell Edge. Pro tento účel je využita tabulka 14. Jsou také odlišené pomocí barev od zelené (Excelent) po červenou (Cell edge). U parametrů GSM a UMTS, které nemají vlastní výpočty je tabulka součástí aplikace.

Tabulka 14: Hodnocení kvality rádiového kanálu [32]


Hodnocení	SINR [dB]	RSRQ [dB]	RSRP [dBm]	Ec/No [dB]
Vynikající (Excellent)	> 12.5	> -5	> -84	> -2
Dobré (Good)	10 až 12.5	-6 až -10	-85 až -102	-2 až -5
Uspokojivé (Fair)	7 až 10	-6 až -10	-103 až -111	-5 až -10
Špatné (Poor)	< 7	< -11	< -112	< -10

Tabulka 15: Hodnocení kvality rádiového kanálu RxLev a RSCP [44]

Hodnocení	RxLev [dBm]	RSCP [dBm]
Vynikající (Excellent)	> -75	> -85
Dobré (Good)	-75 až -85	-85 až -95
Uspokojivé (Fair)	-85 až -95	-95 až -105
Špatné (Poor)	-95 až -105	-105 až -115
Hranice měření (Non Existent)	< -105	< -115

RSRP calculation

Output power of eNodeB can be variable and depends on the HW and SW configuration. These values are typical scenario for FDD-LTE. HW also support single (1x60W) or multiple sectors (3x60W). It is possible to offer a similar set-up for TDD-LTE. Source: *The LTE-advanced deployment handbook : the planning guidelines for the fourth generation networks*

Total output power of eNodeB sector	<input type="text" value="20"/>
Free-space path loss in dB	<input type="text" value="100"/>
Cable loss of eNodeB in dB	<input type="text" value="3"/>
Antenna gain of UE in dBi	<input type="text" value="10"/>
Antenna gain of eNodeB in dBi	<input type="text" value="13"/>
Channel width in MHz	<div>10 MHz / 50 PRBs </div>
<div>Calculate</div>	
RSRP value	-64.7712 dBm
RSRP code	76
RF condition	Excelent

Obrázek 2: Ukázka výstupu aplikace (výpočet RSRP)

5.2.3 Popis HTML kódu

Hlavička HTML je rovněž společná pro všechny stránky. V hlavičce je uveden titulek obsahující název stránky a poté odkazy na jednotlivé skripty a css styly Bootstrapu, jQuery a vlastní css style (custom.css).

Navigační okno (navbar) je komponenta Bootstrapu. Vytváří se pomocí HTML elementu `<nav>` a třídy "navbar navbar-inverse". Dropdown menu jsou vytvořena pomocí třídy dropdown. Jednotlivé položky menu jsou ve třídě dropdown-menu. Navigační lišta je responzivní, to znamená, že v případě potřeby je zajištěna úprava velikosti a rozvržení prvků v závislosti na velikosti okna prohlížeče.

Uživatelské vstupy jsou součástí jQuery a jsou vytvořeny pomocí elementu `<input>`. Ten obsahuje atributy type, který je zvolen jako number, jelikož vstupy jsou v každém případě číselné hodnoty. To zajistí kontrolu vstupu, jestli se jedná o číslo a zároveň odstraní problém desetinné čárky. Není tedy rozdíl, jestli uživatel zadá do vstupu desetinnou čárku nebo tečku. Atribut data-clear-btn je nastaven na hodnotu false. To zakáže vytvoření tlačítka pro smazání pole, to jsem nepovažoval za nutné. Dále obsahuje atribut id, který je jedinečný a slouží pro

identifikaci elementu a jeho využití v JavaScriptu.

Převod z hodnot šířky pásma na počet bloků je zajištěn už přímo v elementu `<select>` a jednotlivých hodnot v elementech `<option>`. Není tak nutné tento převod řešit až pomocí JavaScriptu. Select obsahuje atributy `data-native-menu` s hodnotou `false`, což nastaví využívání stylů od jQuery. V případě hodnoty `true` by měl výběr klasický styl, tak jak jej známe z klasického HTML stylu. Další atribut `data-mini` s hodnotou `true` zajistí, že je velikost menu menší, jinými slovy stejná, jako velikosti elementů `input`.

Popisy vstupů jsou vytvořeny pomocí elementu `<label>`. Elementy `input` a `label` jsou součástí kontejneru jQuery pomocí atributu `data-role="fieldcontain"`. To zajistí, že jsou popisky společně se vstupy na jednom řádku. JQuery Mobile standardně u vstupů využívá roztažení na celou stránku prohlížeče, což pro zadání číselné hodnoty není nutné a proto jsou pomocí CSS stylů upraveny tak, aby zabíraly pouze vhodný prostor. Pro mobilní zobrazení neboli při malé velikosti okna prohlížeče se popisky (`label`) zobrazí nad vstupy (`input`).

Tlačítka jsou opět komponenta jQuery. Třída `ui-btn` je nutná k indikaci, že element bude zobrazen ve stylu tlačítka a je ji potřeba uvést jako prerekvizitu pro další třídy vztahující se k tlačítkům. Další třída `ui-btn-inline` značí, že nebude využívat celý prostor, ale pouze tolik, kolik je potřeba a lze jej umístit vedle textu.

Popupy jsou vytvořeny pomocí jQuery atributem `data-role="popup"`. Mezi další atributy patří jedinečné `id`, dále je zde atribut `data-position-to`, který je nastaven na hodnotu „`origin`“. To nám zajistí vytvoření popupu v místě středu tlačítka. Posledním atributem je `data-transition` s hodnotou „`fade`“, což vytvoří animaci pro tento prvek.

5.2.4 Popis JavaScriptového kódu

Po stisknutí tlačítka `Calculate` se vykoná metoda v atributu `onClick`. Tato metoda je součástí javascriptového souboru. Funkce zajistí, že jako první jsou uloženy do jednotlivých proměnných hodnoty uživatelských vstupů. V JavaScriptu je využit opět jQuery. Základní syntaxe jQuery je `$(selector).action(arguments)`. Znak `$` značí využití frameworku jQuery. Selector představuje jeden nebo více HTML elementů. Do selectoru tedy umístíme `id` požadovaného elementu. Pomocí metody `val()` můžeme uložit do proměnné obsah elementu v podobě textového řetězce (`string`). Poté je vykonána kontrola vstupu na jeho správnost. Metoda `isNaN()` kontroluje jestli je obsah proměnné číselná. Dále je kontrola na prázdný vstup. Další kontroly už jsou specifické pro dané parametry (větší než určitá hodnota, celé číslo apod.). V případě že je kontrola neúspěšná, je zobrazen popup, který se vytvoří pomocí stejnojmenné funkce. Pomocí `positionTo` určíme, na jakém elementu bude popup zobrazen. V této aplikaci se jedná vždy o tlačítko.

V případě, že je kontrola úspěšná, tak se provede výpočet, popř. více výpočtů pomocí vzorců umístěných v JavaScriptovém souboru `calc`. Funkce pro výpočty jsou pojmenovány podle názvu počítaných parametrů. Jako vstupní parametry těchto funkcí jsou potřebné proměnné, které byly zadány uživatelem. Jelikož jsou vstupy stále ve formě řetězce, tak jsou pomocí funkce `parseFloat`

převezeny na float. Pomocí funkce toFixed(), která přijímá parametr počet desetinných míst je výsledek na tento počet míst zaokrouhlen.

Výpočet kódu, pokud to je možné, tak je proveden pomocí funkce codecalc, která přijímá 6 parametrů. Parametr input je hodnota, pro kterou je kód vypočítáván, tudíž je zde předán výsledek výpočtu pomocí vzorců. Parametry min a max představují minimální a maximální hodnotu přijímané úrovně, která se mapuje na kódy. Ty jsou v parametrech jako mincode a maxcode. Jelikož jsou mapovací tabulky i v jiných krocích než 1 (to se týká např. parametrů Ec/No a SIR), tak je zde ještě parametr step, který určuje krok neboli velikost rozsahu přijímané úrovně pro jeden kód. V případě parametrů RxQual, BEP a CQI se používají vlastní funkce pro výpočet kódu, jelikož na tyto tabulky nelze tento obecný algoritmus využít.

5.3 Výpočet RSRP

Parametr RSRP obsahuje výpočet za pomocí vzorce uvedeného v teoretické části, který využívá ke svému výpočtu úroveň RSSI a počet zdrojových bloků. Tento výpočet lze využít za předpokladu plného vytížení buňky ve směru downlink bez započítání šumu a interferencí. V tom případě můžeme využít vzorec 19 z něhož je RSRP odvozen.[29]

$$RSSI[\text{dBm}] = 12 \cdot N \cdot RSRP \quad (19)$$

Jako další možnost výpočtu parametru RSRP je pomocí zadání výstupního výkonu eNodeB [W], ztráty v kabelu eNodeB [dB], ztrát ve volném prostředí [dB], zisk přijímací antény UE a vysílače [dBi] a počet zdrojových bloků (šířka pásma). Výpočet je proveden pomocí vzorce, kdy určíme výkonovou úroveň eNodeB. Poté ještě odečteme ztráty v kabelu, útlum prostředí a přičteme zisk antény UE a vysílače.

$$L[\text{dBm}] = 10 \cdot \text{Log} \cdot \frac{\text{výstupní výkon}}{12 \cdot \text{počet bloků} \cdot 0.001} \quad (20)$$

$$RSRP[\text{dBm}] = L - \text{kabelové ztráty} - \text{útlum prostředí} + \text{zisk antény} \quad (21)$$

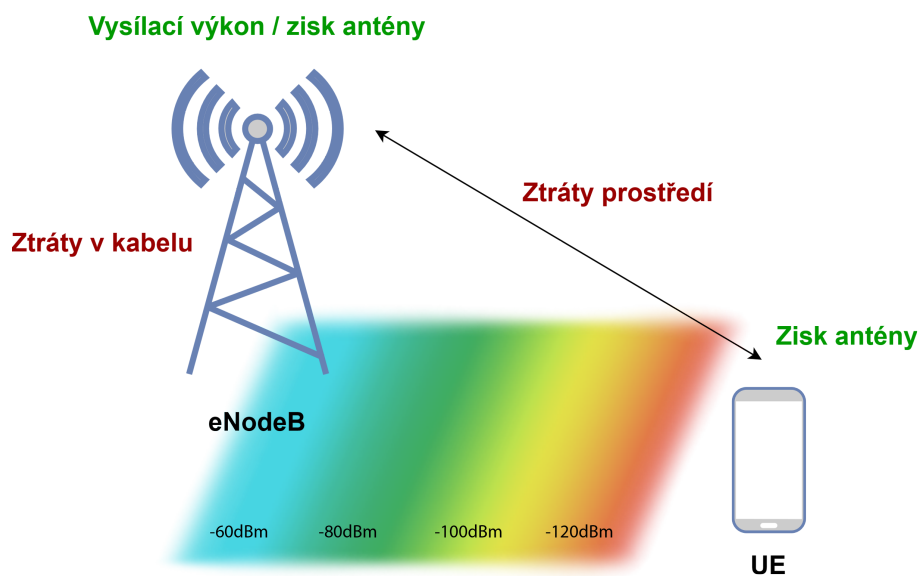
Výstupní výkon [W] eNodeB může být variabilní. Typický příklad pro systém FDD-LTE je uveden v tabulce. Vše závisí na použitých hardwarových prostředcích, popř. na konkrétním nastavení, použití výkonových zesilovačů apod. Výkony se také mohou lišit podle typu buňky. Typicky mikrobuňky mohou mít výstupní výkon 8 W a v případě makrobuňky to může být 60W. Tabulka 16 představuje praktické řešení pro jednotlivé šířky pásma. HW podporuje použití jednoho nebo více sektorů. Maximální výkonová úroveň pro sektor je 60 W, pro více sektorů se mohou využít násobky tohoto výkonu. Pro TD-LTE mohou být hodnoty podobné.[30] Zisk vysílače je v případě makrobuňky okolo 12-15 dBi a u pikobuněk 0-5dBi.[45]

Součástí je také obrázek 3 znázorňující zadávané hodnoty pro výpočet RSRP a útlum přenosové trasy mezi eNodeB a UE. Hodnoty, které negativně ovlivňují výslednou přijímanou úroveň

Tabulka 16: Výkonová úroveň eNodeB vzhledem k šířce pásma

Šířka pásma [MHz]	Výkon eNodeB [W]
1.4	8
3.0	20
5.0	40
10	60
15	60+60
20	60+60

jsou vyznačeny červeně. Naopak výstupní výkon a zisk antény, které se podílí na výsledné hodnotě kladně, jsou vyznačeny zeleně.



Obrázek 3: Grafické znázornění výpočtu RSRP

5.4 Výpočet SINR v UMTS

SINR v UMTS ukazuje výkonové změny pouze oproti užitečným HS-DSCH. Pro výpočet SINR v UMTS je využit vzorec 22[32]

$$SINR[\text{dBm}] = SF \cdot \frac{P_{HSDPA}}{P_{TOT_TX} \cdot [1 - \alpha + \frac{1}{G}]} \quad (22)$$

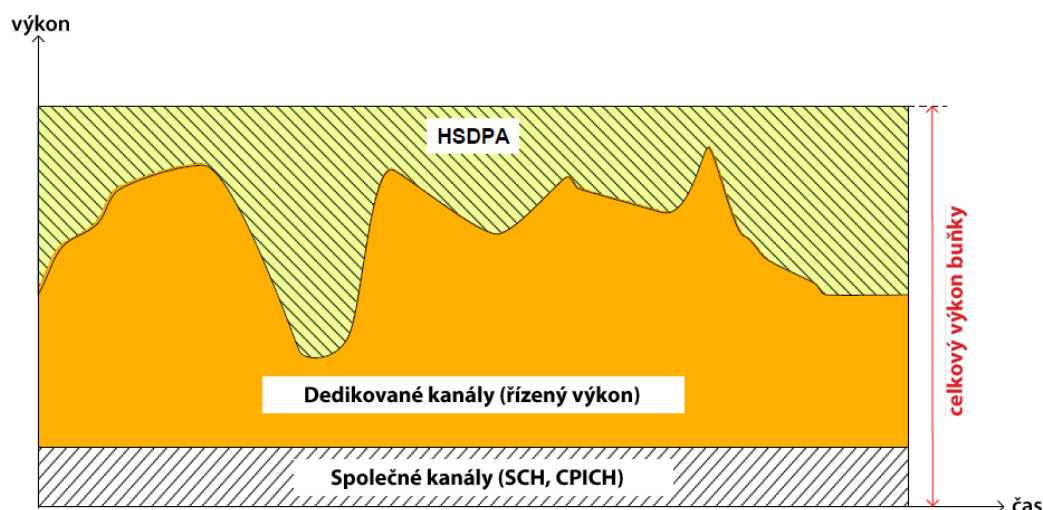
kde:

- SF je použitý Spreading Factor
- P_{HSDPA} je celkový výkon alokovaný pro HSDPA

- P_{TOT_TX} je celkový výstupní výkon daného sektoru NodeB
- α je parametr ortogonalita ve směru downlink
- G je Geometry Factor [dB]

HSDPA využívá nový typ transportního kanálu HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel). Mezi jednu z vlastností patří zrušení variability činitele rozprostření. Ten je v případě HSDPA konstantní a roven 16.

Výkon alokovaný pro HSDPA je typicky 3-7 W z celkového výkonu přidělenému buňce, ten je typicky okolo 20 W. Je to díky zavedení adaptivní modulace a kódování dle aktuálních podmínek v rádiovém kanálu. Součástí provozu v UMTS je tzv. Release 99 (R99), kde se řadí například hlasová telefonie. Primárně je výkon buňky určen pro toto využití. Pro HSDPA je poté určen zbývající výkon v buňce, který není obsazen společnými kanály (CPICH, SCH) a dedikovanými kanály (DCH). To znázorňuje obrázek 4 [31][32]



Obrázek 4: Znázornění rozdělení výkonu pro jednotlivé kanály a HSDPA [32]

Ortogonalita alpha se týká interference uvnitř vlastní buňky. Průměrná ortogonalita je asi 0.6 pro makrobuňku.[34]

Geometry factor vyjadřuje podíl dostupného výkonu v buňce k výkonu interference ze sousedních buněk. Hodnota geometry factoru tak bude nejvyšší v malých buňkách, jako jsou femto-buňky a pikobuňky, jelikož díky malé velikosti je zde lehčí zajistit izolaci od sousedních buněk, jelikož např. budovy nebo další objekty v případě malých buněk lépe zabraňují únikům signálů k sousedním buňkám. Uživatelé tak v těchto buňkách mají velký geometry factor na většině území dané buňky. V případě velkých buněk (makrobuněk) se tak jedná spíše o oblast velmi blízkou samotnému vysílači. Geometry factor je pro makrobuňky typicky okolo -3 dB blízko

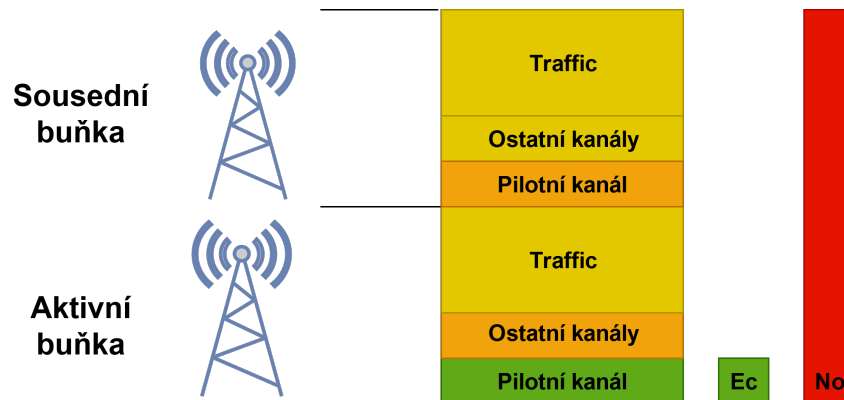
okraje buňky a medián je okolo 2 dB. U femtobuněk je okolo 12-15 dB, čehož lze dosáhnout v makrobuněkách pouze za dobrých podmínek. Lze jej vypočítat pomocí vzorce 23. [33]

$$G = 10 \log \cdot \frac{\text{Výkon vlastní buňky}}{\text{Interference z okolních buněk}} \quad (23)$$

5.5 Výpočet Ec/No

U příkladu pro výpočet Ec/No je navíc možnost zadávat vstupní hodnoty RSSI zvlášť. Často je v literatuře také zmiňován parametr Ec/Io, který zanedbává šum. Ten je v porovnání s interferencí možné zanedbat. V praxi tedy není ve výpočtech velký rozdíl. Specifikace 3GPP ale využívají označení Ec/No.

Součástí stránky je také obrázek znázorňující vztah mezi Ec a No popř. Ec a Io, kde Ec představuje výkon na pilotním kanálu, což představuje menší část celkového výkonu. No popř. Io zahrnuje výkon ostatních kanálů a také provoz v buňce. Tato hodnota se dále zvyšuje vzhledem k interferencím z okolních buněk, kde jsou samozřejmě nežádoucí i jejich pilotní kanály.



Obrázek 5: Grafické znázornění Ec/No [37]

5.6 Počet zdrojových bloků v LTE a 5G NR

PRB představuje nejmenší přenosovou jednotku v systému LTE, která může být uživateli přidělena. Je definovaný v časově-frekvenční oblasti. Jedna subnosná v systému LTE zabírá rozsah 15KHz. PRB je blok obsahující 12 těchto subnosných, tudíž jeden zdrojový blok zabírá rozsah 180KHz. Šířka kanálu v LTE dle 3GPP specifikací může nabývat 1,4,3,5,10,15 nebo 20 MHz. Pro šířku pásma 1,4MHz je tedy využito 6 zdrojových bloků. Konkrétně to ukazuje tabulka 17 [27][32]

V případě 5G NR je počet PRB více variabilní a s tím i celková šířka pásma. PRB může nabývat hodnot 24-275. Šířka pásma subnosných (Subcarrier Spacing-SSC) již může nabývat 15, 30, 60, 120 nebo 240KHz. Počet subnosných v systému 5G NR je maximálně 3300, což dává 275 PRB. Minimum je 24 PRB na 1 slot. [38]

Tabulka 17: Počet PRB v LTE v závislosti na šířce pásma

Šířka pásma	PRB	Počet užitečných subnosných
1.4 MHz	6	72
3 MHz	15	180
5 MHz	25	300
10 MHz	50	600
15 MHz	75	900
20 MHz	100	1200

Tabulka 18: Počet PRB v 5G závislosti na šířce pásma[38]

SSC	min PRB	max PRB	min. šířka pásma MHz	max. šířka pásma MHz
15 KHz	24	275	4.32	49.5
30 KHz	24	275	8.64	99
60 KHz	24	275	17.28	198
120 KHz	24	275	34.56	396
240 KHz	24	138	69.12	397.44

5.7 5G NR

Jako nástupce LTE je standard 5G NR. Zkratka NR zde označuje New Radio. Práce na tomto standardu započaly v roce 2016 a první verze byla dokončena v roce 2018. První komerční provoz byl spuštěn v dubnu 2019 v Jižní Koreji. Oproti standardu LTE se kterým sdílí mnoho technických řešení nabízí 5G několikanásobné zvýšení přenosové rychlosti a především podstatné snížení doby odezvy (jednotky milisekund). To je důležité např. pro využití v průmyslu, robotice, autonomních vozidel nebo v internetu věcí, kde je doba odezvy stěžejní. [46]

Jelikož je tento standard dokončen a jsou k dispozici specifikace 3GPP týkající se kvalitativních parametrů, tak aplikace umožňuje provádět výpočty, popř. poskytovat základní informace i pro 5. generaci mobilních sítí. Jako kvalitativní parametry se zde využívají RSRP, RSRQ a SINR. Co se týče výpočtů, tak ty jsou shodné se systémem LTE. Použité vzorce jsou tedy popsány v teoretické části LTE. Rozdílné jsou mapovací tabulky, které mají větší rozsah. Dalším rozdílem je hlášení parametru SINR. V případě 5G je již SINR zahrnutý ve specifikacích 3GPP a je tak přímo zasílán zpět na eNodeB ve formě RRC zprávy. V předchozích generacích byl tento parametr využívat pouze interně v rámci UE např. k výpočtu CQI.

6 Závěr

V rámci teoretické části jsem popsal jednotlivé kvalitativní parametry, se kterými aplikace pracuje. Uvedené vzorce jsou také většinou součástí 3GPP specifikací. Některé vzorce např. u RSRP nebo SINR jsou lépe popsány v popisu aplikace, kde jsou také vysvětleny jednotlivé hodnoty a v jakém rozmezí by měl uživatel tyto hodnoty zadávat. Tabulky jsem uvedl ve zkrácené podobě, tak jak jsou uváděny ve specifikacích. Aplikace již umožňuje aby byly zobrazeny kompletně pro všechny kódy.

Aplikace poskytuje pro uživatele základní informace o daném parametru. U parametrů, kde není výpočet nutný a není zde specifický vzorec, tak je výpočet vynechán a jsou zde k dispozici pouze převodní tabulky. Uživatelské vstupy obsahují doporučené hodnoty a jednotky, ve kterých by měl uživatel hodnoty zadávat. Některé parametry obsahují pro lepší znázornění také obrázky, který popisuje danou problematiku. K vytvoření těchto obrázků jsem využil online aplikaci draw.io, která umožňuje vytvoření diagramů pro volné využití. Uvedené tabulky jsou součástí specifikací 3GPP. Aplikaci jsem dle požadavků vytvořil v anglickém jazyce.

Do aplikace jsem se rozhodl přidat výpočty pro parametry z 5. generace mobilních sítí, jelikož se standard pomalu začíná využívat i pro komerční účely a jsou v současné době již k dispozici dokončeny specifikace. 5. generace využívá parametry, které jsou využívány v předchozí generaci LTE a není tedy nutné je nějak podrobněji popisovat. Výpočty a vzorce se také shodují. Rozdíly jsou především v mapovacích tabulkách a v počtu zdrojových bloků/šířkou pásma, což je vysvětleno v kapitole věnující se popisu aplikace.

Při vytváření této práce jsem získal odborné vědomosti o způsobech měření úrovní signálů v mobilních sítích a s tím i spojených výpočtů, které se využívají pro vyjádření kvality rádiového kanálu. Dále jsem měl možnost získat zkušenosti při vývoji webové aplikace a prohloubit znalosti HTML5, JavaScriptu, CSS, Bootstrapu a jQuery.

Webová aplikace je již k dispozici na webových stránkách <https://comtech.vsb.cz/qualmob/>. Uživatel potřebuje pro spuštění aplikace pouze webový prohlížeč. Využité frameworky i HTML5 jsou podporovány již delší dobu. V případě spuštění z lokálního úložiště je dobré zmínit, že některé prohlížeče ve výchozím stavu zakazují Cross origin request. Aplikace by mohla být v budoucnu rozšířena o mobilní aplikaci, která by umožnila měření v reálném čase.

Literatura

- [1] SAUTER, Martin. From GSM to LTE: an introduction to mobile networks and mobile broadband. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011. ISBN 978-0-470-66711-8.
- [2] EBERSPACHER, J., Hans-Jorg VOGEL a Christian BETTSTETTER. GSM: switching, services, and protocols. 2nd ed. New York: Wiley, c2001. ISBN 0-471-49903-x.
- [3] GIBSON, Jerry D. The mobile communications handbook. 2nd ed. New York: IEEE Press, c1999. ISBN 0-8493-8597-0.
- [4] PROKOPEC, Jan a Stanislav HANUS. Systémy mobilních komunikací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2008. ISBN 978-80-214-3791-3.
- [5] GSM SACCH | GSM Slow Associated Control Channel. RF Wireless world [online]. [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/GSM-SACCH-Slow-Associated-Control-Channel.html>
- [6] HALONEN, Timo, Javier ROMERO a Juan MELERO. GSM, GPRS, and EDGE performance: evolution towards 3G/UMTS. 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: J. Wiley, c2003. ISBN 0-470-86694-2.
- [7] SEURRE, Emmanuel, Patrick SAVELLI a Pierre-Jean PIETRI. GPRS for mobile Internet. Boston, MA: Artech House, 2003. Artech House mobile communications series. ISBN 158053600X.
- [8] FER, RxQual and DTX DL Rate Measurements in TEMS Investigation [online]. 2009 [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20091222065104/http://www.ascom.com/en/measurements-in-investigation-2.pdf>
- [9] What is BER. Radio-Electronics.com [online]. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <https://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-tutorial-definition.php>
- [10] KASERA, Sumit, Nishit NARANG a A.P PRIYANKA. 2.5G Mobile Network: GPRS and EDGE. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2008. ISBN 978-0-07-065692-5.
- [11] DAHLMAN, Erik. 3G evolution: HSPA and LTE for mobile broadband. Burlington, MA: Elsevier Academic Press, c2007. ISBN 9780123725332.

- [12] JEON, Soo-Yong a Dong-Ho CHO. Energy-Efficient Channel Quality Indication (CQI) Feedback Scheme for UMTS High-Speed Downlink Packet Access [online]. Republic of Korea [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://koasas.kaist.ac.kr/bitstream/10203/264/1/141.%20Energy-Efficient%20Channel%20Quality%20Indication%28CQI%29%20Feedback%20Scheme%20for%20UMTS%20Hihg-Speed%20Downlink%20Packet%20Access.pdf>
- [13] BER vs BLER vs DBLER. Radio-Electronics.com [online]. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/BER-vs-BLER-vs-DBLER.html>
- [14] LTE-the UMTS long term evolution: from theory to practise. Editor Stefania SESIA, editor Issam TOUFIK, editor Matthew BAKER. Chichester: John Wiley & Sons, 2009. ISBN 978-0-470-69716-0.
- [15] Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Physical layer – Measurements (FDD) (3G TS 25.215 version 3.1.1 Release 1999) [online]. 1999 [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/125200_125299/125215/03.01.01_60/ts_125215v030101p.pdf
- [16] ŘEZÁČ, Filip, ed. International Workshop w RTT 2014: Užití elektrotechniky a informatiky v komunikačních systémech. Frymburk: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05539-7.
- [17] DVORSKÝ, Marek. Základy bezdrátových komunikací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3557-0.
- [18] The Overview of HSDPA [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/kaboudei/hsdpa-principles>
- [19] Why CQI? [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: https://www.slideshare.net/faraz_husain/rscp-rssi-ecno-cqi
- [20] HOLMA, Harri a Antti TOSKALA. WCDMA for UMTS: HSPA evolution and LTE. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2007. ISBN 978-0-470-31933-8.
- [21] SAILY, Mikko, Guillaume SEBIRE a Eddie RIDDINGTON. GSM/Edge: evolution and performance. Hoboken, N.J.: Wiley, c2010. ISBN 9780470746851.
- [22] FARHOOD CHISAB, Raad. Performance Evaluation of 4G-LTE-SCFDMA Scheme under SUI and ITU Channel Models [online]. 2014 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.661.1011&rep=rep1&type=pdf>
- [23] LTE Quick Reference. ShareTechnote [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_RSSI.html

- [24] AHMADI, Sassan. LTE-advanced: a practical systems approach to understanding the 3GPP LTE releases 10 and 11 radio access technologies. Amsterdam: Elsevier, [2014]. ISBN 978-0-12-405162-1.
- [25] SALO, Jari. Mobility Parameter Planning for 3GPP LTE: Basic Concepts and Intra-Layer Mobility [online]. 2014 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: http://www.lteexpert.com/lte_mobility_wp1_10June2013.pdf
- [26] LTE RSRP vs RSRQ. RF Wireless World [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LTE-RSRP-vs-RSRQ.html>
- [27] LTE Physical Layer Overview. Keysight [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/lte/content/lte_overview.html
- [28] LTE RSRP Calculator. RF Wireless World [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/calculators/LTE-RSRP-and-RSRQ-calculator.html>
- [29] ZHANG, Xincheng. LTE optimization engineering handbook. Hoboken, NJ, USA: Wiley, [2017]. ISBN 9781119158974.
- [30] PENTTINEN, Jyrki T. J. The LTE-advanced deployment handbook: the planning guidelines for the fourth generation networks. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, 2016. ISBN 9781118484807.
- [31] WCNC 2008 IEEE Wireless Communications & Networking Conference, March 31-April 3, 2008, Las Vegas, Nevada. New Jersey: IEEE, 2008. ISBN 978-1-4244-1997-5.
- [32] MICHALEK, Libor a Roman ŠEBESTA. Rádiové sítě II pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN isbn978-80-248-3559-4.
- [33] Femtocells: opportunities and challenges for business and technology. Editor R. Simon SAUNDERS. Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley, 2009. ISBN 978-0-470-74816-9.
- [34] HSDPA/HSUPA for UMTS: high speed radio access for mobile communications. Editor Harri HOLMA, editor Antti TOSKALA. Chichester: John Wiley, c2006. ISBN 0-470-01884-4.
- [35] GHOSH, Amitabha a Rapeepat RATASUK. Essentials of LTE and LTE-A. New York: Cambridge University Press, 2011. Cambridge wireless essentials series. ISBN 9780521768702.
- [36] LTE Throughput Optimization: Part 2 – Spectral Efficiency. Our Technology Planet [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://ourtechplanet.com/lte-throughput-optimization-part-2-spectral-efficiency/>

- [37] What is Ec/Io (and Eb/No)?. TelecomHall [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <http://www.telecomhall.com/what-is-ecio-and-ebno.aspx>
- [38] 5G/NR - Frame Structure. ShareTechnote [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: http://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_FrameStructure.html
- [39] Introduction. Bootstrap [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://getbootstrap.com/docs/4.2/getting-started/introduction/>
- [40] HTML 5.2. W3C [online]. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.w3.org/TR/html/introduction.html>
- [41] Úvod do JavaScriptu. Jak psát web [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.jakpsatweb.cz/javascript/javascript-uvod.html>
- [42] JQuery. JQuery [online]. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://jquery.com/>
- [43] CSS styly - úvod. Jak psát web [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.jakpsatweb.cz/css/css-uvod.html>
- [44] INDICATORS OF QUALITY OF SERVICE. Anacom [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: https://www.anacom.pt/streaming/16june2017QoSmethodology6.pdf?contentId=1415803&field=ATTACHED_FILE
- [45] Qualcom. Netseminar [online]. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: http://netseminar.stanford.edu/past_seminars/seminars/01_29_09.pdf
- [46] What is 5G New Radio (5G NR)?. 5G NEW RADIO [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://5gnr.org/2017/01/02/5g-new-radio/>

A Adresářová struktura přiloženého CD/DVD

Součástí BP je CD se zdrojovými soubory webové aplikace

kořenová složka	Jednotlivé html soubory včetně index.html
\css	Složka s kaskádovými styly
\css\images	Gif načítání stránky
\images	Obrázky pro aplikaci
\js	Složka s JavaScriptovými soubory
\js\libs	knihovny jQuery a Bootstrap
